Aus dem Anatomischen Institut der Universität Basel
Vorsteher: Prof. Dr. med. et phil. G. Wolf-Heidegger

Über Dicke und Zahl der Muskelfasern auf verschiedenen Querschnitthöhen des Musculus sartorius beim Menschen

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde
der Medizinischen Fakultät der Universität Basel

vorgelegt von

Ferdinand Kann

von New York/USA

1957

BASEL (Schweiz) S. KARGER NEW YORK

Von der
Medizinischen Fakultät der Universität Basel genehmigt
auf Antrag von
Prof. Dr. G. Wolf-Heidegger

Tag der Promotion: 3. März 1956

Erschienen in «Acta Anatomica», Vol. 30, 1957

Kann, F.: Acta anat. *30*, 351–357, 1957

Aus dem Anatomischen Institut der Universität Basel
Vorsteher: Prof. Dr. med. et phil. G. Wolf-Heidegger

ÜBER DICKE UND ZAHL DER MUSKELFASERN AUF VERSCHIEDENEN QUERSCHNITTHÖHEN DES MUSCULUS SARTORIUS BEIM MENSCHEN

Von F. KANN

Einleitung

Die vorliegenden Befunde über die Länge der Skeletmuskelfasern in Beziehung zur Gesamtlänge des Muskels ergeben noch immer kein genügend klares Bild. Insbesondere bei den langen Muskeln stellt sich die Frage, ob die Fasern von dem einen Ende des Muskels bis zum anderen verlaufen oder ob sie im Muskel frei beginnen und endigen. Im Zusammenhang damit steht die Frage, ob die Verdickung der sogenannten parallelfasrigen, also longitudinal gefaserten und der spindelförmigen Muskeln in ihrer Mitte auf eine Verdickung der einzelnen Muskelfasern oder auf eine größere Zahl von Muskelfasern zurückzuführen ist.

Als Beitrag zu diesen Fragen haben wir an Faserungspräparaten und an Querschnitten aus verschiedenen Höhen den Bau des M. sartorius beim Menschen untersucht.

Literaturübersicht

Froriep [1878] konnte im M. sartorius des Menschen Fasern von 8 cm Länge messen; *Felix* [1887] gibt als Maximallänge der Muskelfasern im gleichen Muskel 12,3 cm und *Heidenhain* [1911] 12 cm an. *Lockhardt* und *Brandt* [1937/38] gelang es allerdings, im menschlichen M. sartorius Fasern von 34 cm Länge zu isolieren, deren Enden zudem abgebrochen waren. *Van Harreveld* [1947] beobachtete im M. sartorius des Kaninchens Fasern bis zu 3 cm Länge bei einer Gesamtmuskellänge von 7 cm. Er stellte fest, daß Fasern an einem Ende oder an beiden Enden

frei im Muskelfleisch endigen können, und daß auch Überschneidungen dieser frei endigenden Fasern vorkommen.

Über die Dicke der einzelnen Muskelfasern liegen eine ganze Reihe von Angaben vor. *Bowman* [1840] gibt Werte von 40–130 μ an, *Koelliker* [1889] nennt 11–80 μ. Dieser Autor stellte auch erstmals fest, daß die Faserdicke innerhalb eines Muskels stark variiert. Ebenso haben *Halban* [1894] und *Schiefferdecker* [1908] große Schwankungen der Faserdicke in ein- und demselben Muskel sowie in zwei entsprechenden Muskeln verschiedener Individuen beobachtet.

Von großer Wichtigkeit ist auch die Frage, ob die Muskelfasern in ihrer ganzen Länge den gleichen Querschnitt beibehalten oder ob sie sich an ihren Enden allmählich verschmälern. *Bardeen* [1903] unterscheidet grundsätzlich zwei Arten von Faserendigungen: «die intratendinöse» Endigung, bei der die Muskelfaser unter kegelförmiger Zuspitzung in die Sehnenfaser übergeht, und die «intrafaszikuläre», bei der die Faser irgendwo innerhalb des Muskels endigt, wobei sie sich allmählich verdünnt. *Rollet* [1856, 1885] und *Koelliker* [1889] kamen bereits zu ähnlichen Ergebnissen. *Felix* [1887] allerdings gibt an, daß beim Menschen die Muskelfasern nur selten unter allmählicher Verschmälerung enden. *Heidenhain* [1911] berichtet, daß freie Endigungen der Fasern unter allmählicher Verschmälerung ihrer Enden innerhalb des Muskels nur in Muskeln von mehr als 12 cm Länge vorkommen. *Schimert* [1934] schreibt, daß die meisten Muskelfasern beim Menschen das Maximum der Breite in der Gegend ihrer Mitte haben und sich gegen ihre beiden Enden geringgradig verschmälern. *Kohashi* [1937] hat bei verschiedenen spindelförmigen Muskeln Schnitte durch deren kraniale und kaudale Enden sowie durch die Muskelmitte untersucht und dabei festgestellt, daß in einigen Fällen die Fasern im Bereich der Mitte dicker, in anderen Fällen aber dünner waren als die Fasern an den Muskelenden. *Feneis* [1935] hat darauf hingewiesen, daß bei spindelförmigen Muskeln die Zuspitzung der Muskelenden auf einer allmählichen Abnahme der Faserzahl beruht, da ein gestaffelter Übergang in die Sehne erfolge. *Eggenschwiler* [1956] schließlich hat gezeigt, daß die Zuspitzung des M. rectus abdominis an seinem kaudalen Ende auf eine Abnahme der Faserzahl und nicht auf eine Verjüngung der einzelnen Fasern zurückzuführen ist.

Material und Methodik

Für unsere Untersuchungen standen uns die Mm. sartorii von 4 jüngeren Individuen (Todesursache: Suicid) zur Verfügung[1]. Die Entnahme der Muskeln erfolgte jeweils innerhalb weniger Stunden nach dem Tode.

Von je einem M. sartorius pro Fall wurde ein Abfaserungspräparat des proximalen und des distalen Endes hergestellt. Dazu wurden die Muskeln nach einer von *Ludwig* [1952] angegebenen Methode zuerst mit einer Lösung von Salpetersäure in Glycerin behandelt und anschließend über eine Glycerinlösung in 95 %igen Alkohol übertragen. Die Präparation erfolgte nach den Angaben von *Eggenschwiler* [1956].

Je ein M. sartorius pro Fall wurde in Susa fixiert und nachher in 96 %igen

---

[1] Herrn PD Dr. *J. Im Obersteg*, Vorsteher der Anstalt für gerichtliche Medizin der Universität Basel, danke ich verbindlichst für die Überlassung des Materials.

Alkohol übertragen. Von jedem Muskel wurden drei quer zur Längsachse stehende Scheiben von etwa 1 cm Dicke herausgeschnitten, und zwar an folgenden Stellen:

Fall 1: 22jähriger Mann. – Gesamtlänge des M. sartorius: 54 cm.
Querschnitte: 1. proximal 2 cm unterhalb des Ursprungs,
2. im Bereich der größten Breite 32 cm oberhalb des distalen Muskelendes,
3. distal 6 cm oberhalb des distalen Muskelendes.

Fall 2: 24jährige Frau. – Gesamtlänge des M. sartorius: 49,5 cm.
Querschnitte: 1. proximal 4 cm unterhalb des Ursprungs,
2. im Bereich der größten Breite 33 cm oberhalb des distalen Muskelendes,
3. distal 5,5 cm oberhalb des distalen Muskelendes.

Fall 3: 30jähriger Mann. – Gesamtlänge des M. sartorius: 56 cm.
Querschnitte: 1. proximal 4 cm unterhalb des Ursprungs,
2. im Bereich der größten Breite 30 cm oberhalb des distalen Muskelendes,
3. distal 5 cm oberhalb des distalen Endes.

Fall 4: 21jähriger Mann. – Gesamtlänge des M. sartorius: 52 cm.
Querschnitte: 1. proximal 4,5 cm unterhalb des Ursprungs,
2. im Bereich der größten Breite 29 cm oberhalb des distalen Muskelendes;
3. distal 5 cm oberhalb des distalen Endes.

Die Querschnittscheiben wurden entwässert, über Methylbenzoat-Benzol in Paraffin gebracht und eingebettet. Dabei wurden alle Fälle genau gleich behandelt, um vergleichbare Resultate zu erhalten. Die Schnittdicke betrug 8 μ, gefärbt wurde mit Hämalaun-Benzopurpurin. Zur Verwendung gelangten jeweils nur tadellose Schnitte. Die Bestimmungen des Flächenwertes der Gesamtquerschnitte, der durchschnittlichen Querschnittsfläche der Muskelfasern und der Faserzahl pro Schnitt wurden in der bei *Eggenschwiler* [1956] ausführlich beschriebenen Weise durchgeführt.

Und zwar wurden jeweils mit Hilfe eines Projektionsapparates die Querschnitte des ganzen Muskels bei 25facher Vergrößerung bestimmt. Bei 200facher Vergrößerung wurden von jedem Schnitt 10 Bündel zu genau 100 Fasern gezeichnet. Da die meisten Bündel mehr als 100 Fasern zählen, es uns jedoch wichtiger schien, möglichst intakte Fasern auszuwählen, hielten wir uns nicht an die anatomischen Bündelgrenzen. Die 10 untersuchten Bündel wurden aus möglichst vielen verschiedenen Bezirken des Querschnittes entnommen und bei jedem Schnitt aus möglichst denselben Bezirken. Zur Bestimmung der Flächenwerte aus den Zeichnungen wurden die betreffenden Querschnitte ausgeschnitten und das Papier gewogen. Die Gewichte wurden mit Hilfe einer für dieses Papier bestimmten Konstante in die Flächenwerte umgerechnet. Aus den Flächenwerten der Bündel von 100 Fasern wurde der Durchschnittswert der Querschnittsfläche der einzelnen Muskelfasern bestimmt; die Faserzahl ergab sich aus der Division des Flächenwertes des gesamten Muskelquerschnittes durch den durchschnittlichen Flächenwert der einzelnen Muskelfasern.

Ergebnisse und deren Besprechung

I. Abfaserungspräparate

Die Abfaserungspräparate der untersuchten Fälle ließen erkennen, daß die Muskelfasern erst ganz knapp vor den Muskelenden räumlich gefiedert in die Sehnen übergehen. Die beiden Enden des M. sartorius sind demnach wie spindelförmige Muskeln gebaut. Diese Verjüngung der Muskelenden infolge des gestaffelten Überganges der Muskelfasern in die Sehnen ist proximal auf eine Strecke von höchstens 1,5 cm, distal auf etwa 4 cm begrenzt. Die von uns untersuchten Querschnittsbereiche der proximalen und distalen Endregionen liegen somit sicher außerhalb der spindelförmigen Anteile des Muskels.

II. Untersuchung der Muskelquerschnitte

Die Ergebnisse der Fasermessungen und Zählungen in den verschiedenen Querschnittshöhen werden in Tabelle 1 zusammengefaßt. Die Werte zeigen zunächst, daß bei allen untersuchten Muskeln der *Gesamtquerschnitt* in der Mitte sichtlich größer ist als an den beiden Enden, von denen das distale etwas dünner ist als das proximale.

Die durchschnittliche *Querschnittsgröße der einzelnen Fasern* zeigt beträchtliche Schwankungen (siehe auch Abb. 1).

Ein Zusammenhang zwischen der Größe des Gesamtquerschnittes des Muskels und der Dicke der einzelnen Fasern ist nicht vorhanden. In keinem der untersuchten Fälle sind die Fasern im Bereich der größten Breite des Muskels wesentlich dicker als die Fasern in den Endgebieten. In 3 Fällen ist sogar im Mittelbereich der durchschnittliche Faserquerschnitt am kleinsten.

Die Faserzahl pro Schnitt ist in allen untersuchten Fällen in der Muskelmitte um vieles größer als an den beiden Enden. Sie überschreitet an einem der beiden Enden nie 75% der Faserzahl im Bereich des größten Muskelquerschnittes und beträgt in einem Fall sogar nur 22% des Wertes.

Die Verdickung des Muskels in seiner Mitte ist somit durch eine größere Anzahl von Muskelfasern bedingt. Die Querschnitte der einzelnen Muskelfasern zeigen im ganzen Muskel ziemliche Schwankungen, doch ist die größere Querschnittsfläche im mittleren Bereich des Muskels jedenfalls nicht durch eine Verdickung der Fasern bedingt. Daraus kann geschlossen werden, daß zumindest ein großer Teil der Fasern nicht von einem Ende des Muskels bis zum anderen

Tabelle 1

		Fall 1	Fall 2	Fall 3	Fall 4
Fläche des Gesamtquerschnittes in mm^2	proximal	153,7	112,8	211,9	205,8
	Mitte	252,4	211,2	296,0	400,0
	distal	141,6	84,2	207,2	167,5
Durchschnittliche Querschnittsfläche der Muskelfaser in μ^2	proximal	2117	1226	2280	2243
	Mitte	1607	1084	1691	2659
	distal	1784	1325	1592	4991
Faserzahl pro Gesamtquerschnitt	proximal	72680	92040	92920	91760
	Mitte	157120	194830	174990	150410
	distal	79350	63530	130130	33580

verläuft, sondern irgendwo innerhalb des Muskels frei beginnen bzw. endigen muß. Dieser Schluß steht in Einklang mit den bisher festgestellten, oben genannten Faserlängen im M. sartorius des Menschen.

In unserem Material ist die durchschnittliche Faserdicke im mittleren Bereich des Muskels sogar eher kleiner als an den Enden. Dieser Befund zeigt Übereinstimmung mit den Angaben *Kohashis* [1937]. Da gleichzeitig die Faserzahl bedeutend größer ist als an den Muskelenden, liegt der Schluß nahe, daß sich in der Mitte des M. sartorius Fasern finden, die sich mit ihren zugespitzten Enden (*Rollet* [1856, 1885], *Morpurgo* [1897], *Bardeen* [1903], *Schimert* [1934]) überschneiden. Der Muskel würde sich somit in seiner Längsausdehnung nicht, wie dies *Van Harrefeld* [1947] für den Kaninchen-

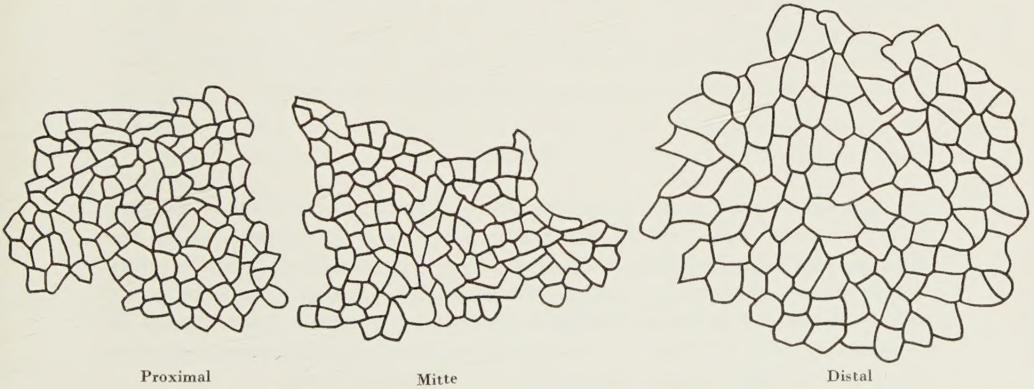

Abb. 1. Je 1 Faserbündel zu 100 Fasern aus Schnitten des Musculus sartorius (Fall 4). Besonders deutlich ist die Faser- und Bündelgröße im proximalen Bereich im Vergleich zur Mitte und zum distalen Abschnitt.

Sartorius beschrieben hat, aus mehreren genau hintereinander geschalteten Fasern aufbauen.

Voss [1937] hat sich mit den Faktoren beschäftigt, die die Muskelfaserdicke beeinflussen. Als möglichen Faktor erwähnt dieser Autor das Geschlecht. Für diese Ansicht spricht unser Fall 2, der zeigt, daß die durchschnittliche Muskelfaserdicke bei diesem weiblichen Individuum kleiner ist als bei den Männern (Fälle 1, 3 und 4).

Zusammenfassung

Um festzustellen, ob der größere Querschnitt im mittleren Bereich des Musculus sartorius beim Menschen auf einem größeren Querschnitt der einzelnen Fasern oder auf einer erhöhten Faserzahl beruht, wurde bei vier Fällen an je 3 Schnitten durch diesen Muskel (in Nähe des proximalen Ansatzes, im Bereich des größten Querschnittes und in Nähe des distalen Ansatzes) Anzahl und Querschnitt der Muskelfasern bestimmt. Dabei zeigte sich, daß im Mittelbereich des Muskels mehr, und zwar im allgemeinen dünnere Fasern vorhanden sind als an den Muskelenden.

Faserungspräparate des proximalen und des distalen Muskelendes ließen erkennen, daß ein gestaffelter Übergang der Muskelfasern in das Sehnenmaterial stattfindet, daß also die beiden Enden dieses Muskels eine Fiederungsstruktur aufweisen.

Summary

The diameter of the middle part of the sartorius muscle in man is greater than the diameter of both the proximal and distal parts of the muscle. The greater diameter of the middle part may be the result of either a larger diameter of the fibres or a greater number of fibres. In three sections (through the proximal origin, the greatest diameter and the distal insertion) both the number and the diameter of the muscle fibres have been examined in four cases. The number of thinner fibres is greater in the middle part of the muscle than in its proximal and distal parts.

When the fibres at the proximal and distal end of the muscle have been untwisted they may be seen attached to the tendon one on top of the other. There is a pennate arrangement of the fibres at both ends of the muscle.

Résumé

Afin de savoir si, sur une coupe transversale pratiquée dans la partie moyenne du muscle couturier de l'homme, la plus grande surface de coupe correspond à une épaisseur plus considérable des fibres musculaires elles-mêmes ou à une augmentation du nombre de ces fibres, l'auteur a déterminé dans 4 cas sur 3 coupes transversales le diamètre et le nombre des fibres (les coupes ont été faites au voisinage de l'insertion distale). Il ressort de cette étude que dans la partie moyenne les fibres sont plus nombreuses et plus minces qu'aux extrémités du muscle.

Par dissociation de l'extrémité proximale et distale du muscle on peut démontrer que la transition de la fibre musculaire au tendon s'effectue par échelons; les extrémités présentent de ce fait une structure empennée.

LITERATUR

Bardeen, C. R.: Variation in the internal architecture of the m. obliquus abdominis externus in certain mammals. Anat. Anz. *23*, 241, 1903.

Bowman, W.: zit. nach *Häggqvist*, 1931.

Eggenschwiler, E.: Ist die Zuspitzung des Musculus rectus abdominis in seinem kaudalen Bereich durch Reduktion der Faserdicke oder der Faserzahl bedingt? Acta anat. *26*, 175, 1956.

Felix, W.: Die Länge der Muskelfasern bei dem Menschen und bei einigen Säugetieren. Festschrift für *A. v. Koelliker*, Leipzig 1887.

Feneis, H.: Über die Anordnung und die Bedeutung des Bindegewebes für die Mechanik der Skeletmuskulatur. Morph. Jb. *76*, 161, 1935.

Froriep, A.: Über das Sarkolemm und die Muskellehre. Arch. Anat. Physiol., Anat. Abt. 1878, 416.

Häggqvist, G.: Gewebe und Systeme der Muskulatur. In: Hdb. d. mikr. Anat. d. Menschen von *Möllendorf* II/3, 1931.

Halban, J.: Die Dicke der quergestreiften Muskelfasern und ihre Bedeutung. Anat. H. *9*, 269, 1893.

Heidenhain, M.: Plasma und Zelle. In: Hdb. d. Ant. d. Menschen von *Bardeleben* 8/II, 1911.

Kohashi, Y.: Histologische Untersuchungen der verschiedenen Skeletmuskeln beim Menschen. I. Untersuchungen beim Erwachsenen. Folia anat. jap. *15*, 175, 1937.

Koelliker, A.: Hdb. d. Gewebelehre d. Menschen, Bd. I, p. 356, Leipzig 1889.

Lockhardt, R., und *W. Brandt:* Length of striated muscle fibres. J. Anat. London *72*, 1937/38.

Ludwig, K. S.: Die Architektur der Muskelwand im Rattenuterus. Acta anat. *15*, 23, 1952.

Morpurgo, B.: Über Aktivitätshypertrophie der willkürlichen Muskeln. Virchows Arch. *150*, 522, 1897.

Rollet, A.: Über freie Enden quergestreifter Muskelfäden im Innern der Muskeln. S.B. Akad. Wiss. Wien *III 21*, 176, 1856.

— Untersuchungen zur näheren Kenntnis des Baues der quergestreiften Muskelfaser. S.B. Akad. Wiss. Wien *III 24*, 291, 1857.

— Untersuchungen über den Bau der quergestreiften Muskelfasern I. Denkschr. Akad. Wiss. Wien *III 49*, 81, 1885.

Schiefferdecker, P.: Muskeln und Muskelkerne. Leipzig 1909.

Schimert, J.: Über den feineren Bau einiger Muskeln des Menschen. Mit besonderer Berücksichtigung der Länge und Anordnung der quergestreiften Muskelfasern. Z. mikr.-anat. Forsch. *36*, 215, 1934.

Van Harreveld, A.: On the force and size of motor units in the rabbit's sartorius muscle. Amer. J. Physiol. *151*, 96, 1947.

Voss, H.: Vergleichende Untersuchungen über den Aufteilungsgrad der kontraktilen Masse in den Skeletmuskeln. V. Weitere Untersuchungen an menschlichen Muskeln (Rumpf-, Gliedmaßen- und Gesichtsmuskeln). Z. mikr.-anat. Forsch. 42, 418, 1937.

Eingegangen 15. April 1956